

Introducción

La Gran Imagen



Los suelos conforman una capa delgada conocida como la litósfera (también llamada pedósfera), en la parte superior de la mayor parte de las superficies. Esta delgada capa constituye un precioso recurso natural. Los suelos afectan tan profundamente cada parte del ecosistema que a menudo se les llama los «grandes integradores.» Los suelos portan nutrientes y agua para las plantas y animales. El agua se filtra y limpia a medida que fluye a través de los suelos. Los suelos afectan a la química del agua y la cantidad de agua que regresa a la atmósfera para formar lluvia. Los alimentos que consumimos y la mayoría de los materiales que usamos para fabricar papel, edificios y ropa dependen de los suelos. Comprender la mecánica de los suelos constituye factor importante para saber dónde construir nuestras casas, carreteras, edificios y también sitios de juego. Esta investigación lo guía a través de las mediciones de las características de los suelos, la humedad del suelo, la infiltración y la temperatura de los suelos.

Una de las características más importantes de cualquier tipo de suelo es la cantidad de agua que contiene. Ya sea en forma de vapor o líquido, el agua ocupa alrededor de un cuarto del volumen de una tierra productiva. Si los suelos se resecan mucho y no están cubiertos de vegetación, se vuelan con el viento. Sin embargo, si tienen exceso de agua, se convierten en lodo y no pueden sustentar muchos cultivos, ni tampoco, por la misma razón, los cimientos de edificios. La proporción a la que el agua fluye o se infiltra en la

superficie del suelo determina cuánta agua puede escurrirse durante una tormenta de lluvia. Los suelos secos y porosos pueden absorber grandes cantidades de lluvia y protegernos de inundaciones súbitas. El suelo que está casi saturado de agua o cuya capacidad de absorción es lenta, puede agudizar la posibilidad de que se produzca una inundación.

Toda la vida terrestre depende directa o indirectamente de suficientes niveles de agua en los suelos. La humedad de los suelos se combina con otras propiedades de los suelos y clima para determinar los tipos de vegetación que pueden crecer. El suelo actúa como esponja y guarda el agua para que sea absorbida por las plantas. Algunos suelos son más eficaces en esta función que otros. Por ejemplo, en los desiertos cuyos suelos son arenosos y no retienen el agua muy bien, los cactus guardan su propia agua, mientras que otros árboles profundizan mucho sus raíces hasta alcanzar el agua que se encuentra enterrada decenas de metros bajo la superficie.

La temperatura de los suelos cambia más lentamente que la de la atmósfera. En muchas zonas templadas, la capa superficial de tierra se congela durante el invierno, pero a cierta profundidad, la corteza terrestre nunca se congela y la temperatura es casi constante en todo el año. En algunos climas fríos existe una capa permanente de hielo llamado 'permafrost' o **permagel**. El suelo actúa como aislante que protege a las capas más profundas de tierra y lo

Figura SU-I-1

Propiedades de los Suelos que Cambian con el Transcurso del Tiempo		
<i>Propiedades que cambian en minutos, horas o días</i>	<i>Propiedades que cambian en meses o años</i>	<i>Propiedades que cambian en cientos y miles de años</i>
temperatura contenido de humedad composición del aire en poros de suelo	pH color estructura contenido de materia orgánica fertilidad microorganismos densidad	tipos de minerales distribución de tamaño de partículas formación de horizontes



que quiera que viva en ellas a partir de las variaciones extremas de temperatura.

Tanto la temperatura como la humedad de los suelos cercanos a la superficie tienen su efecto sobre la atmósfera a medida que el calor y el vapor de agua se intercambian entre la superficie terrestre y el aire. Estos efectos son menores que aquellos generados por los océanos, los mares y los grandes lagos, pero por momentos influyen importantemente sobre el clima. Se ha encontrado que los huracanes intensifican la fuerza, en lugar de perderla, al momento que pasan sobre suelos que están saturados con agua. Los meteorólogos han encontrado que sus pronósticos pueden mejorarse a veces si es que las condiciones del factor tierra entran a formar parte de sus cálculos. La manera cómo la temperatura superficial de los suelos y la humedad responden a los cambios atmosféricos depende de las características de la superficie de los suelos y de aquellas que están bajo la superficie en el perfil subyacente. En GLOBE, las mediciones que hagan los estudiantes incluyen muchas de las propiedades físicas y químicas de los suelos que nos proporcionan conocimientos intrínsecos respecto al papel que desempeñan los suelos con respecto al clima.

Composición y Formación de los Suelos

Los suelos están compuestos de tres ingredientes principales: minerales de diferentes tamaños; materia orgánica proveniente de los restos de plantas y animales muertos; y espacio abierto que puede llenarse con agua y aire. Una buena tierra para la siembra de casi todas las plantas debería tener alrededor de 45% de minerales (con una mezcla de arena, limo y arcilla), 5% de materia orgánica, 25% de aire y 25% de agua.

Los suelos son dinámicos y cambian con el tiempo. Algunas propiedades, tales como la temperatura y el contenido de agua (una medida de humedad de los suelos) cambia muy rápidamente (en cuestión de minutos y horas). Otras, tales como las transformaciones minerales, tienen lugar muy lentamente a lo largo de cientos o miles de años.

La formación de los suelos (pedogénesis) y las propiedades del suelo son el resultado de cinco factores clave, que son:

1. material matriz. Es aquel material a partir

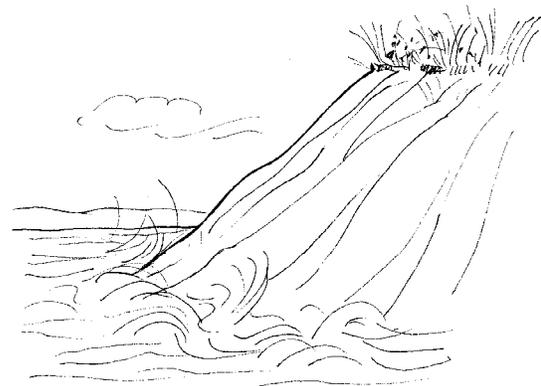
del cual se forma la tierra. El material matriz puede ser un lecho rocoso, material orgánico y una superficie de suelo antiguo, o un depósito de agua, viento, glaciares, volcanes o material que va bajando por una ladera.

2. clima. El calor, lluvia, hielo, nieve, viento, luz solar y demás fuerzas ambientales descomponen o fragmentan el material matriz y tienen su efecto sobre cuán rápida o lentamente se suscitan los procesos de cambio en los suelos.

3. organismos. Son todas las plantas y animales que viven sobre o dentro de los suelos (incluyendo los microorganismos y los humanos). La cantidad de agua y nutrientes que precisan las plantas afecta la manera cómo se van formando los suelos. Los animales que viven en el suelo afectan la descomposición de los materiales de desecho y la forma en que los materiales del suelo serán movidos en torno al perfil de la tierra. Los restos muertos de plantas y animales se convierten en *materia orgánica* que enriquece los suelos. La forma cómo los humanos emplean los suelos afecta la formación de los mismos.

4. topografía. La ubicación de un suelo en un paisaje puede afectar la forma en que los procesos climáticos lo impactan. Los suelos que se encuentran al pie de una loma obtendrán más agua que los suelos de las laderas, y los suelos de las laderas que están de frente al sol serán más secos que aquellas laderas que están fuera del alcance de la luz solar.

5. tiempo. Todos los anteriores factores se hacen evidentes con el transcurso del tiempo, un proceso que a menudo dura cientos o miles de años.



Perfiles del Suelo

Debido a la interacción de los cinco factores que dan lugar a la formación de los suelos, éstos difieren mucho. Cada segmento de tierra sobre el paisaje tiene sus propias y peculiares características. La *cara* de un suelo, o la manera cómo se ve cuando se hace un corte transversal del mismo en la tierra, se denomina *perfil de suelo*, igual que el perfil de la cara de una persona. Cuando usted aprende a interpretarlo, dicho perfil puede decirle acerca de la historia geológica y climática del paisaje durante miles de años, la historia arqueológica de cómo los seres humanos utilizaron los suelos, cuáles son las propiedades actuales de los mismos y cuál es la mejor manera de utilizar esos suelos. En un sentido, cada perfil de suelo cuenta la historia de la ubicación en que se encuentra.

Para leer algunos ejemplos de estas historias, refiérase a *Suelos Alrededor del Mundo* que consta al final de esta sección.

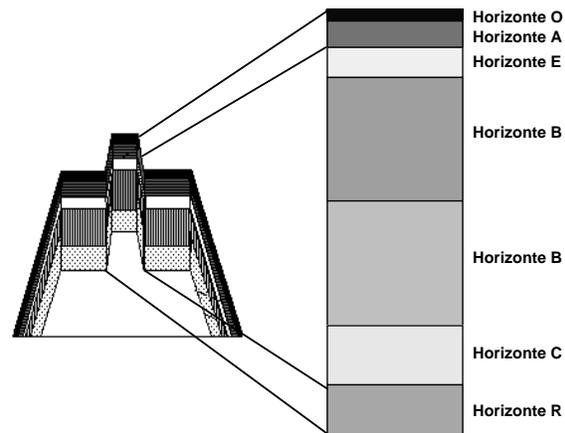
Cada perfil de suelo está compuesto por capas denominadas *horizontes de suelo*. Estos pueden ser tan delgados como unos cuantos milímetros o tan gruesos con más de un metro de espesor. Usted puede identificar los horizontes individuales debido a que tienen distintos colores y partículas de diferentes formas. Ellos se ven diferentes y tienen otras propiedades que difieren de los horizontes anteriores o posteriores a ellos. Algunos de estos horizontes son el resultado de la erosión. Los suelos se lavan río abajo y se depositan durante miles o cientos de años, creando extensas capas de nuevos suelos y grava que pueden identificarse en cortes de carreteras y trincheras o cunetas.

Los científicos especializados en suelos identifican los distintos horizontes mediante un código especial. No todos los suelos tienen los mismos horizontes, estos dependen de cómo se han formado. Parte de los códigos empleados para describir los horizontes se enumeran a continuación:

Horizonte O

El horizonte O ha recibido este nombre debido a que está compuesto de material *orgánico*. Este horizonte se encuentra sobre la capa vegetal de la tierra y contiene, en su mayoría, materia orgánica que ha caído de la vegetación que la cubre (tales como hojas, troncos y ramas). También incluye

Figura SU-I-2



los restos de animales e insectos. A veces, esta materia orgánica se descompone de tal manera que es difícil reconocer las hojas, ramas u otro materia que anteriormente se encontraba allí. Los horizontes O se encuentran más comúnmente en zonas forestadas. Los campos agrícolas, desiertos y pastizales no cuentan con horizontes O en sus perfiles de suelos.

Horizonte A

El horizonte A ha recibido este nombre debido a que, al igual que la primera letra del alfabeto, es el primer horizonte mineral del suelo y generalmente se lo conoce como *capa vegetal*. El Horizonte A está compuesto en su mayor parte de material mineral, aunque también podría incluir materia orgánica totalmente descompuesta que le otorga un color oscuro. Este horizonte es usualmente más oscuro que el horizonte que está justamente debajo de él. En zonas agrícolas el horizonte A es el que se destina a la labranza. Cuando se ha dado una gran descomposición de las raíces y se ha acumulado mucha materia orgánica, la estructura del suelo es granular. Si es compacta, la estructura del horizonte A podría verse similar a fichas.

Horizonte B

El horizonte B se denomina así porque generalmente corresponde al segundo horizonte principal dentro del perfil, tal y como la letra B constituye la segunda letra del alfabeto. Este horizonte está principalmente compuesto de material matriz que ha sufrido la inclemencia del clima hasta el punto que se ha tornado diferente en apariencia. Generalmente se conoce a esta capa como el *subsuelo*. La acción del clima ocasiona



cambios en el color de los suelos, en su textura y estructura (que puede ser como bloques o prismática debido a las partículas de arcilla y elementos químicos que se mueven hacia el horizonte B o columnar debido a un alto contenido de sodio en regiones secas). Además, al B también se lo conoce como el horizonte de acumulación (o eluvial) debido a que es allí donde el material que filtra de los horizontes A y E se depositan. Debido a esta acumulación, el horizonte B puede ser rico en arcillas, materia orgánica, hierro, aluminio y demás constituyentes de los suelos que han permeado desde arriba. Muchos horizontes B tienen un color rojizo, café amarillento o color tostado que es más claro que el horizonte A. Si el suelo se satura de agua durante largos periodos, el color podrá tornarse gris o gris con estratos rojos o anaranjados (moteados).

Nota: Los Horizontes B pueden ser muy gruesos y podrían tener dos o más capas distintas. Si es que hay más de un horizonte B, podrían identificarse como B1, B2, B3, etc. Busque cambios en color, textura, estructura o consistencia para ayudar a separar los horizontes B entre sí.

Horizonte C

Como la letra C en el alfabeto, el horizonte C es usualmente el tercer horizonte principal de un perfil de suelos. El horizonte C es el más similar al material matriz original de los suelos, sin que se produzca un cambio de color, ni se forme una estructura (el suelo es compacto o suelto), no hay remoción ni depósito de materiales de suelo por filtración, ni revestimiento, ni acumulación de materia orgánica.

Horizonte E

En ciertos suelos (usualmente forestados o bajo algún tipo de condición húmeda), se forma un horizonte E. El horizonte E fue nombrado a causa de la palabra *eluvial* que significa que el cieno, el hierro, el aluminio, la materia orgánica y otros minerales han sido removidos (a causa de la filtración). Será de apariencia blanca o de color más claro que los horizontes por sobre o debajo de ellos. Muchas veces, la estructura del suelo es en forma de láminas o suelta. Este horizonte se encuentra comúnmente en bosques donde crecen coníferas.

Horizonte R

El horizonte R representa una capa de roca que a veces se encuentra debajo del perfil del suelo. El suelo pudo haberse formado a partir de este lecho rocoso, o el material matriz de los suelos (tales como *aluvial*, *glacial* o *volcánico*) pudo haberse depositado sobre la roca antes de que formara el suelo.

Nota: En el perfil de los suelos, quizás no se encuentren todos los horizontes antes enumerados en esta tabla. Por ejemplo, usualmente los horizontes O y E se encuentran únicamente en zonas forestadas. Si su perfil de suelos se encuentra en una zona agrícola, desértica o de pastizales, probablemente comenzará con un horizonte A y carecerá de un horizonte D. Si el área ha sufrido erosión, su perfil de suelos podría comenzar con un horizonte B. Los suelos poco profundos, o suelos que no han sufrido los efectos extensos de la intemperie podrían pasar del horizonte A al C sin que haya un horizonte B.

Su suelo podría haber sido alterado a causa de la actividad humana en algún punto en el pasado. Esto podría ser el resultado de actividades de construcción, cuando los constructores colocaron tierra de *relleno* proveniente de otro lugar; o los horizontes no fueron reemplazados en el mismo orden en que fueron retirados. Además, podría haber más de un material matriz a partir del cual se haya formado el suelo correspondiente. El material matriz que es transportado por la acción del agua, viento, glaciares, actividad volcánica o derrumbes, puede depositarse sobre otro material matriz, o perfiles de suelos ya existentes. Esto podrá ponerse de manifiesto en la cara del perfil de los suelos, ya que se produce un drástico contraste de color, textura u otras propiedades que indican que la tierra no se formó de la misma materia matriz.

Los Suelos del Mundo

Las siguientes figuras ilustran la gran variedad de perfiles que existen alrededor del mundo.

Figura SU-I-3: Suelos de Pastizales Cuya Muestra Fuera Tomada en la Parte Sur de Texas, en los Estados Unidos.



Figura SU-I-4: Suelos formados bajo un bosque en el extremo este de Rusia, cerca de la ciudad de Magadan



Figura SU-I-5: Un medioambiente tropical al Norte de Queensland, Australia



Figura SU-I-6: Suelos Que se Han Formado Bajo un Clima Extremadamente Frío Cerca de Inuvik en el Territorio Noroccidental de Canadá.

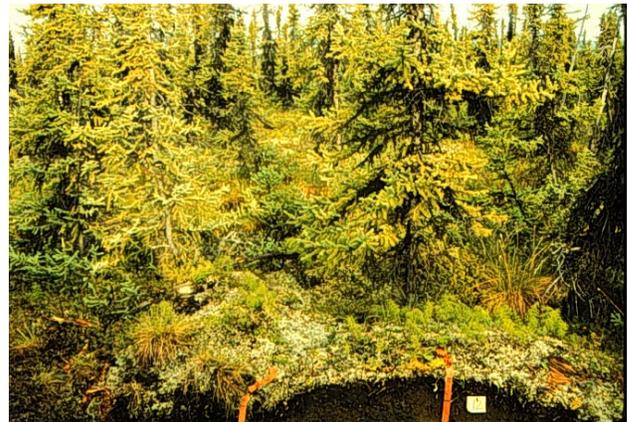


Figura SU-I-7: Suelos Formados Bajo Condiciones Extremadamente Secas o Aridas en Nuevo México, Estados Unidos.

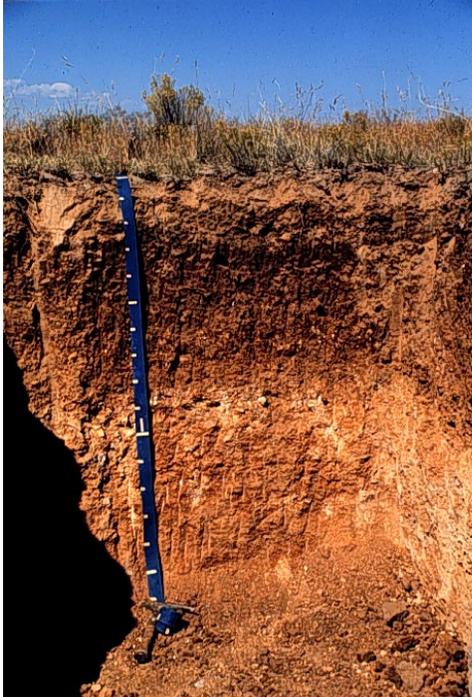


Figura SU-I-8: Muestra de Suelo Húmedo Tomado en Louisiana, Estados Unidos



El Dr. John Kimble y Sharon Waltman del Servicio de Conservación de Recursos Naturales, perteneciente a la USDA, en el Centro Nacional de Investigación de Suelos de Lincoln Nebraska, proporcionaron las fotografías que aquí se muestran.

Vista General de las Mediciones

Caracterización de los Suelos

En el campo, los horizontes de suelos pueden distinguirse unos de otros dentro de un perfil de suelos por las diferencias en su estructura, color, consistencia, textura y cantidad de carbonatos liberados. Cuando las muestras se llevan al aula o laboratorio, las mediciones de las características de los suelos tales como densidad de masa, distribución de partículas por tamaño, pH y fertilidad de los suelos también pueden diferir de un horizonte a otro.

Estructura:

La estructura se refiere a la forma natural de grupos de partículas de suelos o cúmulos de tierra (*terrones*) del suelo. La estructura tiene su efecto respecto a cuán grandes serán los espacios de los suelos a través de los cuales pasan raíces, aire y agua.

Color:

El color de los suelos varía dependiendo de cuánta materia orgánica está presente y los tipos de minerales que contiene (tales como hierro, que usualmente crea un color rojo, o carbonato de calcio (cal), que le da a los suelos una coloración blanca en las zonas secas). El color de los suelos también difiere dependiendo de cuán húmeda o seca sea la muestra correspondiente y puede ser indicativo de si la tierra ha sido saturada con agua.

Consistencia:

La consistencia se relaciona con la firmeza de los *terrones* individuales y cuán fácilmente se resquebrajan o desmoronan. Un suelo con consistencia firme dificultará más la penetración de raíces, palas o picos que aquellas tierras con consistencia *suelta*.

Textura:

La textura corresponde a cómo se siente la tierra; y está determinada por la cantidad de partículas de arena, limo y arcilla incluidas en los suelos, cada una de las cuales tiene un tamaño diferente.

Las manos humanas son sensibles a esta diferencia del tamaño de las partículas de tierra, de manera que estamos en posibilidad de determinar la textura o «sentir al tacto» la contextura de la tierra. La arena constituye el grupo de partículas más grandes, y se siente áspera al tacto. El limo corresponde al siguiente grupo de tamaño, y se siente suave o *harinosa*. La arcilla es el grupo de tamaño más reducido se siente pegajosa y es difícil de apretar.

La cantidad de partículas de arena, limo y arcilla determinan lo que se conoce en una muestra de suelos como la *distribución de partículas según tamaño* y puede medirse en el laboratorio o en el aula.

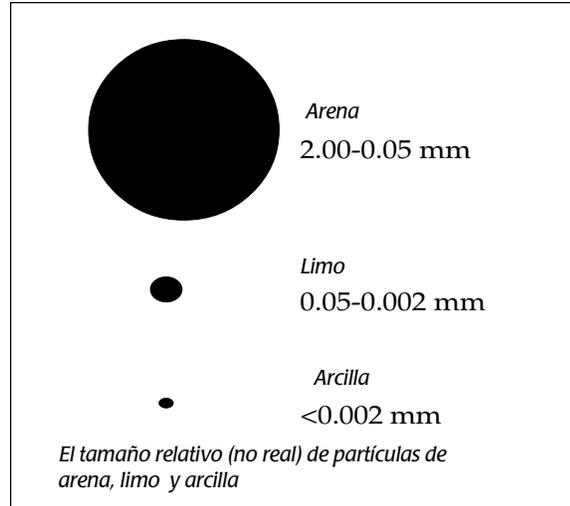


Figura SU-I-9

Carbonatos:

Los *carbonos liberados* constituyen materiales que cubren las partículas en suelos que sobrepasan del pH 7, especialmente en climas áridos o semiáridos. Usualmente los carbonatos son de color blanco, y pueden rasparse fácilmente con la uña. Constituyen sales de calcio u otros elementos que se acumulan en zonas donde no existe una exposición muy grande a la intemperie a causa del agua. Además los carbonatos pueden provenir del material matriz (por ejemplo tierra calcárea), pueden ser causados por la adición de carbonatos a los suelos, o pueden ser el resultado de la formación de carbonatos dentro de los suelos. A veces, en climas secos, los carbonatos pueden formar un horizonte muy duro y denso que es similar al cemento y no permitir que las raíces de plantas crezcan a través de ella.

En GLOBE, esta prueba se lleva a cabo rociando vinagre sobre la tierra. Si existen carbonatos presentes, habrá una reacción química entre el vinagre — que es un ácido — y los carbonatos — que con bases — lo que producirá dióxido de carbono. Cuando se genera bióxido de carbono, se produce un burbujeo o *efervescencia*. Mientras más carbonatos estén presentes, más burbujas o *efervescencia* se podrá observar.

Densidad de Masa:

La densidad de masa de los suelos constituye una medida de cuán compacta o densa es la tierra. Se determina pesando la tierra en seco según una unidad de volumen (g/cm^3). La densidad de la muestra de suelos depende de la estructura (forma)



de los terrones de suelos, de cuántos espacios (poros) existen en la muestra, cuán compactados se encuentran estos, así como la composición del material sólido. Los suelos compuestos de minerales (arena, limo y arcilla) tendrán una densidad de masa diferente a la de suelos hechos de materia orgánica. En general, la densidad de masa de los suelos puede variar de $0,5 \text{ g/cm}^3$ en suelos con muchos espacios, hasta $2,0 \text{ g/cm}^3$ o más en horizontes muy compactos.



El conocer la densidad de masa de un suelo es importante por muchas razones. La densidad de masa puede proporcionarnos información relativa a la porosidad de la muestra (la proporción del volumen del suelo que corresponde a los espacios de los poros). Esto ayuda a determinar cuánto aire o agua puede almacenarse o pasar a través de los suelos. La densidad de masa también indica cuán estrecha es la vinculación de las partículas y si será difícil o fácil que penetren las raíces o palas en todo el horizonte. La densidad de masa también se emplea para convertir entre peso y volumen de una muestra de suelos. Si es que conocemos el peso de una muestra de suelos, podemos calcular su volumen al dividir el peso de la muestra por la densidad de masa de los suelos. Si conocemos el volumen de una muestra de suelos, podemos determinar su peso al multiplicar el volumen de muestra por la densidad de masa del suelo.



Distribución de Partículas según su Tamaño:

La cantidad de cada grupo de partículas según su tamaño (arena, limo o arcilla) en los suelos se denomina distribución de partículas de suelo según su tamaño. El conocer la distribución de partículas según el tamaño dentro de una muestra de suelos, nos permite comprender muchas propiedades de los suelos, incluyendo cuánta agua, calor y nutrientes puede retener el suelo, cuán rápido se movilizarán el agua y el calor a través de la tierra y qué tipo de estructura y consistencia resultará.



La distribución de arena, limo y arcilla en su muestra quedará determinada por una medida de sedimentación mediante un instrumento denominado *hidrómetro*. El hidrómetro se utiliza para medir la cantidad de suelo que se mantiene en suspensión luego de que parte de la tierra se ha depositado en el fondo del cilindro.



La arena es la partícula más grande de tierra dentro del grupo de tamaños, el limo es intermedio y la arcilla más pequeña. Véase figura SU-I-9. Existe desacuerdo en el seno de la comunidad científica en cuanto al exacto rango de tamaños que se emplean para distinguir la arena del limo. Para fines de GLOBE, mediremos la arena y limo en base a 2



diferentes definiciones de tamaño.

1. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) define el tamaño de la arena como $2,0 - 0,05 \text{ mm}$, y el tamaño del limo de $0,05 - 0,002 \text{ mm}$.
2. La Sociedad Internacional de Ciencia de los Suelos (ISSS) define el tamaño de la arena como de $2,0 - 0,02 \text{ mm}$ y el tamaño del limo como $0,02 - 0,002 \text{ mm}$.

Los estudiantes de GLOBE encontrarán las cifras correspondientes a limo y arena según estas dos definiciones, de manera que nuestros datos les puedan resultar de utilidad a todos los científicos del mundo.

Las arcillas corresponden al grupo de partícula más pequeña y están definidas por ambas organizaciones como menores de $0,002 \text{ mm}$. Las partículas mayores a 2 mm se denominan piedras o grava y no se consideran como materia de suelos.

Las partículas pesadas y grandes se sedimentan primero, de manera que cuando una muestra de suelos se agita en un cilindro de 500 ml. , las partículas de arena (según la definición de la USDA) se deposita en el fondo del cilindro después de 2 minutos, mientras que las partículas de arcilla y limo se mantienen en suspensión. Luego de 12 minutos, la arena (según la definición de la ISSS) se ha depositado, dejando las partículas de limo en suspensión. Luego de 24 horas, las partículas de limo se habrán sedimentado, dejando únicamente las de arcilla en suspensión.

pH:

El pH de un horizonte de suelos (cuán ácida o básica puede resultar una muestra de suelos) puede medirse en el laboratorio o en el aula. El pH influye para determinar qué puede crecer en los suelos y constituye el producto del tipo de materia matriz, la naturaleza química de la lluvia y otras aguas que ingresan en el suelo, las prácticas de manejo de la tierra y las actividades de organismos (plantas, animales, hongos, protistas y móneras) que habitan en los suelos. Por ejemplo, las agujas de los árboles de pino son altamente ácidas, y a medida que se descomponen, con el tiempo, rebajan el pH de los suelos. El pH de los suelos es un indicio de su química y fertilidad.

Tal y como lo es el pH del agua, el pH de los suelos corresponde a la misma escala logarítmica (véase *Introducción a la Investigación de Hidrología* donde consta una descripción del pH). Es importante conocer el pH de los suelos debido a que afecta la actividad de los elementos químicos de los mismos

y también a muchas propiedades de los suelos. Distintas plantas crecen mejor con distintos valores de pH. Los hacendados añadirán *enmiendas* tales como carbonato de calcio o sulfato de calcio para cambiar la acidez de los suelos, dependiendo del tipo de plantas que deseen cultivar. El pH de los suelos también afectará el pH del agua subterránea o de un cuerpo cercano de agua, tales como un riachuelo o un lago.

Fertilidad:

La fertilidad de los suelos queda determinada por la cantidad de nutrientes que se han almacenado. El Nitrógeno (N) a manera de nitrato, el fósforo (P) y el potasio (K) son tres importantes nutrientes de los suelos que se requieren para el crecimiento de las plantas, que necesitan ser mantenidos en un nivel apropiado. Cada uno tiene la posibilidad de filtrar desde el suelo hacia el agua subterránea. Al hacer pruebas del suelo para detectar niveles de N, P y K, podemos determinar cuánta cantidad de cada uno de estos elementos está presente en los horizontes del suelo que conforman las muestras del sitio respectivo. La información relativa a la fertilidad de los suelos puede ayudar a explicar por qué y cuán bien crecen ciertas plantas en un Sitio de Caracterización de Muestras, y también puede relacionarse con la química del agua que se medirá en el curso de la *Investigación Hidrológica*.

Estrategia de Muestreo :

Los protocolos correspondientes a la Caracterización de los Suelos deben realizarse una vez en cada sitio donde los suelos tienen alguna incidencia en otras mediciones de GLOBE. Los dos sitios de mayor prioridad constituyen el sitio de Estudio Biológico y el Sitio de Estudio de la Humedad de los Suelos. Los protocolos se dividen entre actividades de campo y actividades en el aula. En el campo, los estudiantes describen y realizan un muestreo de suelos. Para estos fines, se cava un hueco ya sea con una pala o una barrena. Es deseable obtener un perfil de suelos de un metro de profundidad, pero se da la opción de realizar el muestreo de los 10 cm de capa vegetal de los suelos cuando no es posible obtener un perfil de 1 metro. Todos los estudiantes describirán la tierra, tomarán las muestras y las llevarán a sus aulas, donde las secarán, tamizarán, determinarán la densidad de masa y medirán su pH, contenido de nitratos, fósforo y potasio (N, P, K), así como la distribución de las partículas de suelos según su tamaño. También se realizará una medición de la tasa de infiltración de la superficie.

Humedad de los Suelos

Los estudiantes deben medir el contenido de humedad de los suelos por lo menos doce veces cada año, a intervalos regulares. La elección de llevar a cabo mediciones semanales durante 12 semanas, mediciones mensuales durante el año, ó 12 mediciones a intervalos de dos a tres semanas se deja a opción de los profesores y estudiantes de GLOBE. Los diferentes patrones de muestreo proporcionarán datos que serán utilizados por los científicos de diferentes maneras, y mostrarán a los estudiantes los diferentes aspectos de las variaciones que existen en las condiciones de los suelos. Las mediciones serán más interesantes para los estudiantes si es que observan cambios importantes. En general, las condiciones de humedad de los suelos cambiarán bastante rápidamente a comienzos del verano y durante las transiciones entre las temporadas húmeda y seca. Los profesores y los estudiantes deben elegir una estrategia de muestreo que funcione bien en el contexto de su colegio y que resultará en las 12 mediciones que deban tomarse.

Cualquiera de las tres estrategias de muestreo puede elegirse para cotejar las capacidades de los estudiantes y la situación aplicable a su colegio. Nuevamente, las diferentes estrategias de muestreo producirán datos que serán utilizados de maneras diferentes y que ilustrarán diferentes aspectos de variación en la humedad de los suelos. Se emplea un sencillo procedimiento de secado y pesado para determinar el contenido de agua en los suelos dentro de las muestras de suelos aplicables para las tres estrategias.

En la etapa más temprana, los estudiantes realizan un muestreo cerca de la superficie, a 0-5 cm, que corresponde a la profundidad de humedad a la que pueden penetrar los satélites en el suelo, y a 10 cm. Se toman tres muestras a cada profundidad para proporcionar una buena verificación sobre la calidad de los datos correspondientes a una misma localidad. Durante una segunda estrategia, los estudiantes toman muestras de los suelos a una profundidad de 0 - 5 cm., cada 5 m a lo largo de un trayecto de 50 m. Esto proporciona buena información sobre las variaciones y una mejor caracterización de una zona más amplia. Se toman tres muestras en una ubicación dada, a lo largo de ese trayecto para verificar la calidad de los datos. Mediante estas estrategias de muestreo, dado que tanto los estudiantes como los satélites observan la humedad de los suelos cerca de la superficie, los dos juegos de mediciones podrían ser comparados.



Los datos de GLOBE se pueden emplear para ayudar a calibrar, validar o interpretar los datos de los sensores por satélite o las versiones desde las aeronaves.

En una estrategia final, las muestras se toman a cinco profundidades 0-5, 10, 30, 60 y 90 cm. Esta estrategia proporciona una visión profunda de cómo el agua se moviliza a través de la columna de tierra y proporciona datos que se relacionan de mejor manera con la absorción de agua por parte de las plantas.

Los estudiantes recogen sus muestras de humedad de los suelos, las colocan en los respectivos recipientes con etiquetas apropiadas y las pesan. Luego las muestras se secan en un horno de baja temperatura (75 a 10 grados °C), hasta que toda el agua se haya secado, y se vuelven a pesar. La diferencia de pesos antes y después del secado corresponde a la cantidad de agua que portaba la muestra de la tierra. Los científicos denominan a ésta la técnica gravimétrica, que quiere decir medición por peso. La relación del peso del agua con el peso de la tierra se denomina *contenido de agua del suelo*. Note que no constituye un porcentaje, ya que usted no lo divide para el total del peso en mojado. El peso en seco constituye un indicio del tamaño de la muestra de suelos. Se emplea debido a que la densidad de masa es usualmente una característica constante de un suelo. Cuando divide el peso del agua para el peso de la muestra seca, obtiene un número (contenido de agua en el suelo) que puede compararse con sus mediciones de otros días, aunque el tamaño de las muestras de suelo puedan variar de un día al otro.

Típicamente, el contenido de agua en los suelos varía entre 0,05 y 0,40g/g. A menudo estos valores se multiplican por 100, y ese es el convencionalismo que se pide que sigan los estudiantes GLOBE. Aún los suelos desérticos retienen una pequeña cantidad de agua, aunque los suelos superficiales pudieran estar por debajo de los 0.05 g/g. Los suelos orgánicos ricos, turba (combustible fósil) y algunas arcillas pueden absorber grandes cantidades de agua, de manera que es posible medir valores de alrededor de 0,40 g/g.

Infiltración

La infiltración, la proporción de agua que fluye hacia la tierra, es una importante propiedad hidrológica de los suelos. Los científicos precisan conocer esta información para predecir y crear modelos en función de la cantidad de precipitación que se

escurre o queda almacenada en el suelo. La tasa de infiltración varía entre menos de 20 mm/hora para arcillas y suelos compactados a 60 mm/min. para arena suelta y seca.

La infiltración debe medirse por lo menos tres veces cada año en su Sitio de Estudio de la Humedad de los Suelos y una vez en el Sitio de Muestreo para Caracterización de los Suelos. Se empleará para ello un simple artefacto denominado infiltrómetro de doble anillo, que está hecho de dos latas concéntricas de diferentes diámetros. Debido que la infiltración varía con el contenido de humedad de los suelos, lo cual también cambia con el transcurso del tiempo, los estudiantes realizarán de una a nueve mediciones de infiltración durante un período de 45 minutos. Estas observaciones debe tomarse en días en que los estudiantes también están colectando muestras de humedad de los suelos. Dado que la tasa de infiltración puede cambiar según órdenes de magnitud, debido a molestias ocasionadas por animales o plantas, los estudiantes tomarán mediciones de infiltración en un día dado en cada una de tres ubicaciones dentro de 2 metros entre sí.

Temperatura de los Suelos

Las mediciones de temperatura de los suelos se relacionan con las temperaturas cotidianas máximas y mínimas medidas dentro de la *Investigación de la Atmósfera*. Los estudiantes podrían ganar discernimiento al comparar las temperaturas del aire con estas observaciones, así como con la temperatura del agua superficial y las mediciones de la precipitación.

La temperatura de los suelos se mide en el Sitio de Estudio de Humedad de los Suelos, que deberá estar dentro de los 100 m del Sitio de Estudio de la Atmósfera. Si su colegio no está tomando mediciones de humedad de los suelos, tome la temperatura de la tierra a intervalos de 10 m con respecto al Sitio de Estudio de la Atmósfera. Las mediciones se toman a profundidades de 5 cm y 10 cm para proporcionar datos directamente relacionados con la medición del contenido de agua cercana a la superficie de los suelos en el sitio. La temperatura de los suelos debe medirse semanalmente a lo largo del año. Además, cada tres meses, durante dos días consecutivos, los estudiantes deben tomar mediciones en intervalos de dos horas aproximadamente, para revelar cuán cerca a la superficie del suelo la temperatura varía según la hora del día en el Sitio de Estudio.



Preparación para el Campo

Estrategias y Arreglo del Sitio para Realizar el Muestreo de Humedad de los Suelos

Todos los Sitios de Estudio de la Humedad de los Suelos deben estar ubicados en lugares abiertos, apartados de edificios, árboles que den sombra y carreteras. Los sitios no deberán estar sujetos a riego. Es altamente deseable que los Sitios de Estudio de la Humedad de Suelos y Estudios de la Atmósfera se encuentren ubicados a un máximo de 100 metros entre uno y otro, de manera que los datos correspondientes puedan interrelacionarse y combinarse para obtener un cuadro más comprensivo del ambiente que se encuentra cerca de cada Colegio GLOBE.

Los arreglos de las tres estrategias de muestreo a utilizarse en el curso de medir la humedad de los suelos, quedan resumidos en las siguientes secciones.

La Estrella

Los estudiantes recogen muestras sobre la humedad de los suelos a dos profundidades cercanas a la superficie. En los 12 sobre diferentes días de mediciones, las muestras se tomarán en un patrón tipo estrella a una distancia de dos metros de diámetro

El Seguimiento Lineal

Los estudiantes recogen once muestras de suelos a lo largo del Segmento Lineal. Estas mediciones son particularmente útiles para compararlas con las imágenes por satélite. El Segmento Lineal constituye una línea recta de 50 metros de largo, a campo traviesa. Los estudiantes miden la humedad de los suelos cada cinco metros, a lo largo de esta línea. En un punto dado, a lo largo de este trayecto, se toman tres muestras a una distancia de 25 cm entre una y otra, para ayudar a verificar la calidad de los datos.

Profundidad del Perfil

Los estudiantes toman mediciones de la humedad de la tierra partiendo de muestras extraídas de la tierra, empleando una barrena, a cinco diferentes profundidades: 0-5, 10, 30, 60 y 90 cm.

También se proporciona un *Protocolo Opcional sobre el Bloque de Yeso para la Humedad de los Suelos*, que mide el contenido de agua en los suelos y que se recomienda únicamente para estudiantes en niveles avanzados. Los bloques de yeso se colocan en el suelo a cuatro profundidades, 10, 30, 60 y 90 cm. Los estudiantes monitorean electrónicamente el

contenido de humedad en el yeso mediante la determinación de cuán bien conducen estos la electricidad. Estas mediciones pueden relacionarse directamente con las observaciones de *Investigación de la Atmósfera*, dado que se toman a diario. La técnica gravimétrica para determinar la humedad de los suelos se emplea conjuntamente con este protocolo opcional para calibrar las lecturas del bloque de yeso.

Integración con Otras Investigaciones de GLOBE

Esta investigación introduce a los estudiantes al conocimiento de las ricas conexiones que existen entre los suelos y el entorno conformado por la tierra, el agua y la atmósfera. Al colocar estaciones de recolección de datos muy cerca unas de otras, se estará ayudando a estudiar las interacciones entre los parámetros de observación. Se pueden establecer interesantes comparaciones cuando usted:

- ubica un Sitio de Muestreo para la Caracterización de Suelos en el Sitio de Cobertura Terrestre y Biología o en el Sitio de Estudio de la Humedad o en el Sitio de Muestreo de Cobertura Terrestre Cuantitativa.
- realiza las actividades introductorias de Hidrología, junto con la caracterización de los suelos y las actividades de humedad de los suelos; y
- toma las mediciones de la humedad de los suelos cerca del Sitio de Estudios de la Atmósfera.

Consideraciones de Tiempo

Normalmente, las estaciones de primavera y otoño son las mejores para realizar estudios sobre la humedad de los suelos cerca de la superficie o en perfiles profundos, debido a que es poco probable que la tierra se encuentre congelada o demasiado seca. Las actividades deberían cumplirse cuando los estudiantes estén en posibilidad de observar los mayores contrastes.

El día siguiente, luego de que ha llovido, resulta ideal para realizar una visita de observación de la humedad de los suelos, para determinar la magnitud de empozamiento del agua, los residuos de la humedad en el suelo subterráneo, para detectar los lugares secos y llenos de luz del sol, las depresiones lodosas y las circunstancias en que se encuentra una zona que esté debajo del dosel de los árboles o bajo arbustos.



Actividades Educativas

Objetivos de Aprendizaje para los Estudiantes

El sistema de suelos nos provee de un laboratorio natural para integrar muchas actividades científicas. Los estudiantes desarrollarán una comprensión de la ciencia de suelos, geología, biología y ecología al estudiar el origen de su perfil de suelos, los perfiles de otros suelos y la forma en que los mismos se han visto afectados con el transcurso del tiempo por el clima, el tipo de vegetación, la materia matriz, y la utilización de los suelos.

Los estudiantes comprenderán el papel que desempeñan el calor, el agua y los químicos durante la formación de los suelos (pedogénesis) y en el suelo que se encuentra en su Sitio de Estudio. Las actividades que se cumplan en torno a estas áreas proporcionarán antecedentes naturales para estudiar química y física.

Los estudiantes aprenderán respecto a la humedad de los suelos y su temperatura, y la importancia que tienen sobre la hidrología local y global sobre los ciclos del carbono y la energía. También se los iniciará en los desafíos planteados por el uso de sensores remotos para observar la manera cómo los suelos afectan a los procesos regionales y globales. También se incluirán técnicas para la preparación de modelos que ayuden a pronosticar las propiedades de los suelos y los parámetros de ecosistemas.

Los estudiantes desarrollarán destrezas de observación mediante la identificación de las propiedades de los suelos y el aprendizaje de cómo la interacción entre clima, topografía, biología materia matriz (geología) y tiempo dan lugar a la formación de los diferentes tipos de suelos. Afianzarán sus destrezas de campo para realizar mediciones de manera adecuada, manejar muestras y tomar notas.

Los estudiantes se familiarizarán con la terminología, nomenclatura y métodos que emplean los científicos, de tal manera que científicos y estudiantes puedan comunicarse entre sí.

Además, los estudiantes aprenderán conceptos químicos, físicos y biológicos y utilizarán las matemáticas para visualizar y modelar las

propiedades de los suelos y del agua que se relacionan entre sí, así como los procesos involucrados. Las estadísticas y graficaciones también serán importantes para analizar resultados.

Evaluación de los Estudiantes

Para poder evaluar el proceso de aprendizaje entre sus estudiantes durante el transcurso de esta investigación, se recomienda hacerlo en base a sus:

Destrezas para Pensar Críticamente

- Clara comprensión y entendimiento de los conceptos: Desafíe el nivel de comprensión de los estudiantes, presentándoles otros temas científicos para que investiguen. Fíjese en cuán bien formulan sus preguntas, hipótesis y metodologías para estudiar sus problemas ¿Son ponderadas las interpretaciones y conclusiones a las que llegan? Además, ¿revisan la información críticamente, cuestionando enunciados formulados por científicos, por otros estudiantes y por el profesor? Deben recibir incentivos para formular preguntas y aclarar enunciados que no hayan sido explicados con claridad. Esto ayudará a crear una verdadera comunidad científica dentro del aula en la que se respeten las opiniones e inquietudes de todos.
- Observaciones y registro de anotaciones: La exactitud es esencial para validar la investigación. Las observaciones de los estudiantes deberán tener en cuenta los problemas que comprometen los datos, tales como metodologías negligentes, muestreo inadecuado y registro impreciso. Pese a ello, los errores son parte de la ciencia. Los estudiantes deben comprender que los errores deben reconocerse para poder ser corregidos, y que aunque los resultados no parezcan exactos, es importante que se los reporte. A veces, el no poder hacer ninguna observación puede ser importante.



Inventarse datos es mentir y únicamente agrandará el problema posterior.

- Organización de la información científica: Las preguntas que atañen al problema deben presentarse con claridad, por lo que el proceso de búsqueda de la investigación y de datos debe organizarse para apoyar a esas preguntas. Los estudiantes deberán estar en capacidad de juzgar lo que constituye una metodología adecuada para obtener respuestas. Los estudiantes deberán estar en capacidad de interpretar datos a fin de asegurar que sus conclusiones estén bien sustentadas.

Destrezas de Comunicación

El propósito del aprendizaje basado en contextos es el de iniciar a los estudiantes en situaciones de la vida real. Un enfoque así enfatiza la importancia de estar en capacidad de comunicarse con los demás. Los estudiantes deberán ser capaces de comunicar información, tanto verbalmente como escrita, ya sea en escenarios informales como en formales. Los escenarios informales del aula de clases sirve para cimentar sus destrezas de pensamiento crítico y su capacidad para trabajar conjuntamente para alcanzar metas comunes. Los estudiantes deberán estar en capacidad de trabajar cooperativamente con sus colegas a fin de mejorar la calidad de sus investigaciones. Deberán estar en capacidad de desarrollar tareas de grupo (a niveles intermedio y avanzado) dirigidas a lograr los objetivos de sus investigaciones. Esto debe salir a la luz mediante conversaciones y materiales escritos tales como discusiones de grupo, los Cuadernos Científicos GLOBE, o los informes semanales de trabajo.

Las expresiones formales de sus conocimientos a través de presentaciones orales e informes finales deben ser incentivadas. Estas presentaciones e informes deberán informar a la audiencia o a los lectores de manera comprensiva con respecto al estudio en que están involucrados. Los estudiantes deberán estar en capacidad de expresarse concisamente respecto a la información recopilada tal y como lo hacen los científicos en simposiums y publicaciones profesionales. Los estudiantes también deberán estar familiarizados y sentirse cómodos con el uso de la nueva terminología científica que están empleando. De

esta manera estarán mejor capacitados para comprender la literatura científica y podrán comunicarse con mayor exactitud.

El aprender a comunicarse, tanto de manera formal como informal no solamente es imprescindible como destrezas científicas, sino que también permitirá a los estudiantes funcionar mejor en su vida adulta. Deben estar en capacidad de expresarse a sí mismos de manera comprensiva frente a sus compañeros y a la comunidad.

Para evaluar lo que sus estudiantes han aprendido durante el curso de esta investigación, se recomienda evaluarlos en base a sus Cuadernos de Ciencias GLOBE, presentaciones e informes, organización, comprensión de conceptos, medición de destrezas, análisis de datos y su presentación, y solidez de conclusiones.

